DOI: https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-55-31
УДК 330.46:005.311.6:004.8

Куклінова Тетяна Вікторівна
кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри економіки підприємства та організації підприємницької діяльності,
Одеський національній економічний університет
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1370-2883

Чепурна Олена Євгеніївна
кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри кібербезпеки,
Національний університет «Одеська юридична академія»
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1432-0799

Мельник Євген Бориславович
викладач кафедри економіки підприємства та організації підприємницької діяльності,
Одеський національний економічний університет
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-0044-0739

Tetiana Kuklinova
Odessa National Economic University
Olena Chepurna
National University "Odesa Law Academy"
Ievgen Melnyk
Odessa National Economic University

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ: СИНЕРГІЯ АНАЛІТИКИ, МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING: SYNERGY OF ANALYTICS, MANAGEMENT AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Анотація. Розглянуто економіко-математичне моделювання як системний інструмент прийняття управлінських рішень у цифровізованому середовищі, з акцентом на інтеграцію бізнес-аналітики та технологій штучного інтелекту (ШІ). Мета статті полягає у теоретико-методологічному обґрунтуванні принципів, структур і алгоритмів сучасного економіко-математичного моделювання, здатного забезпечити адаптивне управління соціально-економічними системами у повоєнний час. Досягнення поставленої мети забезпечено шляхом використання комплексу методів дослідження: аналізу, синтезу, порівняння, узагальнення та формалізації. Було систематизовано сучасні програмні засоби, які підтримують реалізацію моделей у прикладному бізнес-аналізі. Здійснено порівняльний огляд традиційних математичних методів та новітніх AI-підходів, що використовуються в економіці та менеджменті для підтримки прийняття рішень. Визначено, що синергія математичного моделювання, цифрової аналітики та ШІ підвищує ефективність управлінських рішень, дозволяє знижувати вплив людського чинника, виявляти латентні закономірності в масивах даних і створювати адаптивні системи управління.

Ключові слова: економіко-математичне моделювання, прийняття рішень, дігіталізація, штучний інтелект, бізнес-аналітика, управління ризиками, прогнозування, цифрові моделі, адаптивні системи.

Summary. The purpose of the research is to develop a comprehensive theoretical and methodological framework for designing, validating, and implementing adaptive economic and mathematical models aimed at managing socio-economic systems under conditions of uncertainty and rapid digital transformation. The article explores economic and mathematical modeling as an integrated decision-making tool that combines analytical rigor with technological innovation, highlighting its capacity to address complex managerial tasks in dynamic environments. Particular emphasis is placed on the synergistic integration of business analytics, big data processing, and artificial intelligence technologies, enabling more accurate forecasting, resource optimization, and strategic planning. A generalized multilevel framework for model construction is proposed, incorporating

© Куклінова Т.В., Чепурна О.Є., Мельник Є.Б., 2025

the use of advanced digital analytical platforms and cloud-based environments for real-time processing. Special focus is given to intelligent algorithms—neural networks, ensemble methods, hybrid AI systems—that enhance capabilities in risk assessment, production process optimization, cost control, and scenario analysis. The research systematizes state-of-the-art software tools (Python, R, SAS, Tableau, Power BI) that support deployment and continuous refinement of models, integrating verification and adaptation procedures grounded in the principle of information invariance. A comparative analysis between classical mathematical approaches and advanced AI-driven methods (machine learning, reinforcement learning, fuzzy logic) demonstrates the significant performance gains in predictive accuracy and decision support. The findings confirm that the synergy of mathematical modeling, digital analytics, and AI not only improves the efficiency and resilience of strategic decision-making but also uncovers latent data patterns, reduces cognitive bias, and fosters the creation of adaptive, innovation-oriented management systems. This underlines the importance of integrated modeling as a cornerstone for economic forecasting, strategic planning, and sustainable enterprise growth in the digital economy.

Keywords: economic and mathematical modeling, decision-making, digitalization, artificial intelligence, business analytics, risk management, forecasting, digital models, adaptive systems.

Постановка проблеми. У сучасній економічній науці спостерігається зростаюча потреба у формалізованому підході до аналізу та оптимізації управлінських процесів, що зумовлено збільшенням обсягів даних, ускладненням структур виробничо-економічних систем і підвищенням вимог до обґрунтованості прийняття рішень. Економіко-математичне моделювання виступає засобом створення аналітичних конструкцій, здатних відображати внутрішню логіку функціонування економічних об'єктів і забезпечувати кількісне пояснення причинно-наслідкових зв'язків. Особливої актуальності набуває інтеграція таких моделей з інструментами бізнес-аналітики та алгоритмами штучного інтелекту, що розширює можливості аналізу у сфері прогнозування, ідентифікації ризиків і вибору управлінських сценаріїв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні роки відбувається інтенсивний розвиток методології економіко-математичного моделювання, що проявляється у посиленні інтеграції інструментів бізнес-аналітики. Так, Прокопенко Н., Круш К. дослідили економіко-математичне моделювання стратегічної зрілості проєктного управління підприємств енергетичної галузі, обґрунтувавши підходи до оцінки ефективності управлінських рішень у контексті трансформаційних процесів [1]. В свою чергу, Гур'янова Л., Пушкар О., Панасенко О., Орлова А. проаналізували особливості моделювання динаміки ринку в умовах цифрової економіки, акцентуючи увагу на впливі інноваційних технологій на економічні процеси та механізми їх прогнозування [2]. А Янковий О. у своїй праці акцентує на необхідності виявлення латентних ознак у складних економічних системах [3]. Також Якімова Н. [4] аналізує приклади використання методів кластерного аналізу. А Дудник О. розглянув економіко-математичне моделювання як ефективний інструмент прогнозування стратегій розвитку аграрного сектору, зосереджуючись на підвищенні точності управлінських рішень у сільському господарстві [5]. Праця Куперман В. [6] містить приклади практичного використання багатовимірного аналізу у прогнозуванні виробничих програм підприємств. Таким чином, є тенденція до поглиблення теоретичного апарату моделювання та водночас – про зростання прикладної спрямованості досліджень. Інтеграція інформаційно-геометричних, стохастичних та інтелектуальних методів створює умови для формування нової парадигми економіко-математичного аналізу, орієнтованої на динамічну, гнучку та масштабовану інтерпретацію соціально-економічних процесів.

Незважаючи на значну кількість наукових праць, присвячених економіко-математичному моделюванню, низка теоретичних і прикладних аспектів залишається недостатньо дослідженою. Водночас існує істотний розрив між формальною побудовою моделей у науковій сфері та їх фактичним застосуванням у динамічному, неструктурованому економічному середовищі. Це створює обмеження для трансферу наукових розробок у практику стратегічного управління підприємствами, фінансовими установами та державними органами. Отже, існує нагальна потреба у розробленні цілісної методології побудови, адаптації, верифікації та інтеграції економіко-математичних моделей у цифрове управлінське середовище, з урахуванням як сучасних алгоритмічних можливостей, так і вимог до інтерпретованості, масштабованості та стійкості моделей у нестабільних умовах.

Метою статті є розвиток науково-методичних засад побудови та застосування економіко-математичних моделей у задачах управління складними економічними системами з урахуванням сучасних вимог до адаптивності, інтерпретованості та цифрової інтегрованості.

Виклад основного матеріалу дослідження. Економіко-математичне моделювання, як засіб формалізованого аналізу складних економічних процесів, спирається на багаторівневу класифікацію моделей, що забезпечує їх систематизацію та орієнтованість на прикладні задачі управління.

Таблиця 1 узагальнює класифікацію моделей за п'ятьма ключовими критеріями, що використовуються в сучасному економіко-математичному аналізі.

Таблиця 1 – Класифікація економіко-математичних моделей за ключовими критеріями

Критерій класифікації	Класи моделей
Призначення моделі	Оптимізаційні, балансові, імітаційні, сіткові
Ступінь стохастичності	Детерміновані, стохастичні (ймовірнісні), нечіткі
Форма математичного опису	Аналітичні, економетричні, змішані
Темпоральна структура	Статичні, багатокрокові, динамічні
Тип функціональних залежностей	Лінійні, нелінійні, квазілінійні

Джерело: складено на основі [3–9]

Вибір типу моделі, як свідчить аналіз літератури, залежить не лише від особливостей досліджуваного об'єкта, а й від наявності емпіричних даних, цільової функції, обмежень щодо інтерпретованості результатів і технічної реалізовності. Водночас застосування економетричних моделей дозволяє кількісно оцінювати взаємозв'язки між змінними за допомогою регресійного апарату, але часто вимагає дотримання гіпотез нормальності, незалежності залишків та стаціонарності рядів. У сучасних викликах, пов'язаних із гетерогенністю даних, збільшенням їх обсягу та динамічністю, перевагу набувають змішані моделі, здатні адаптуватися до умов змінного середовища.

Таким чином, класифікація моделей за вказаними ознаками є не лише теоретичним інструментом систематизації, а й практичним орієнтиром для побудови моделей, придатних до адаптації, інтерпретації та впровадження у реальні системи підтримки управлінських рішень.

Процес побудови економіко-математичної моделі є багатоетапним і вимагає узгодження між теоретичною формалізацією об'єкта дослідження, специфікою вхідної інформації та обмеженнями технічної реалізовності. Модель має відображати внутрішню логіку функціонування системи, її стійкі структурні елементи та взаємозв'язки між показниками, релевантними для аналізу.

Виділємо шість послідовних етапів моделювання:

1. Постановка задачі: формулювання цільових функцій, ідентифікація основних змінних, опис обмежень.
2. Конструювання описової моделі: створення якісного образу об'єкта, визначення гіпотез і внутрішніх припущень.
3. Формалізація: математичне відображення структури через рівняння, функціональні зв'язки, логіко-математичні конструкції.
4. Обчислювальна реалізація: вибір аналітичних або чисельних методів, підготовка алгоритмів і програмного забезпечення.
5. Верифікація моделі: порівняння результатів моделювання з емпіричними даними, аналіз відхилень, перевірка адекватності.
6. Інтерпретація та впровадження: трансформація числових результатів у змістовні висновки для підтримки рішень.

Загальновідомо, що важливим етапом є алгоритмізація процесу моделювання. Типовий приклад алгоритму побудови економіко-математичної моделі наведено на рис. 1.

Підкреслюється, що у сучасних умовах розробка моделей тісно пов'язана з інструментарієм обробки великих даних, тому підтримка алгоритмів має здійснюватися в середовищах з високим рівнем гнучкості (Python, R, MATLAB) [10–14].

Зазначимо, що на етапі верифікації слід відзначити низку проблем, пов'язаних із підбором критеріїв відповідності. Стандартні критерії (серед-

Рисунок – 1. Етапи побудови адаптивної економіко-математичної моделі

Джерело: складено особисто авторами

ньоквадратична похибка, коефіцієнт детермінації R^2, критерій Дарбіна-Уотсона) мають обмежену придатність у складних або нелінійних моделях. У таких випадках необхідно залучати модифіковані метрики: середню абсолютну похибку у відсотках (MAPE), крос-валідацію, тестування стійкості до out-of-sample спостережень тощо.

Інтеграція інтелектуальних алгоритмів, таких як нейронні мережі, градієнтні бустинги, решітчасті моделі (grid models), дозволяє підвищити адаптивність і точність, однак зумовлює зниження інтерпретованості моделі – що потребує додаткових процедур (наприклад, SHAP-аналіз, LIME-пояснення). Це накладає обмеження на використання таких моделей у регламентованому або критично важливому управлінні [15, с. 144].

Застосування гібридних підходів, які поєднують економетричну основу з ML-компонентами, є одним із актуальних напрямів. Зокрема, модель може мати форму SARIMA-LSTM або MLR+XGBoost, де базовий каркас відповідає класичній моделі, а адаптивна частина корегує прогноз за допомогою машинного навчання. Така структура відповідає вимогам до стабільності й точності, а також дозволяє виконувати реалістичну декомпозицію факторів впливу.

У сучасних умовах цифрової трансформації підприємств зростає потреба в розробці універсальних підходів до економіко-математичного моделювання, які враховують як класичні методи оптимізації, так і інтелектуальні алгоритми аналізу даних. З огляду на це, було здійснено класифікацію ключових моделей, що використовуються в економічному аналізі та прогнозуванні управлінських рішень. Інтеграція ШІ в економіко-математичне моделювання створює якісно новий рівень аналітичних рішень, що відповідає викликам сучасного управління в умовах невизначеності. Зокрема, методи машинного навчання (ML) та інтелектуального аналізу даних (data mining) дозволяють розширити клас моделей, які адаптуються до зміни вхідних параметрів у реальному часі. На відміну від класичних регресійних підходів, алгоритми Random Forest, XGBoost, нейронні мережі та моделі підкріплення (reinforcement learning) дають змогу працювати з нелінійностями, латентними зв'язками й великою кількістю змінних одночасно [16]. Так, ШІ суттєво підвищує ефективність управління ризиками в економіко-математичному моделюванні. Його алгоритми здатні аналізувати велику кількість змінних і виявляти потенційні ризики ще на ранніх етапах. Завдяки машинному навчанню ШІ моделі постійно вдосконалюються, враховуючи нові дані та сценарії розвитку подій. Це дозволяє прогнозувати фінансові, операційні й ринкові ризики з більшою точністю. Економіко-математичне моделювання з використанням ШІ забезпечує кількісне обґрунтування рішень у складних умовах невизначеності. Інтелектуальні системи допомагають розраховувати ймовірність настання ризикових подій і їх потенційний вплив на бізнес-процеси. У результаті ШІ стає ключовим елементом сучасної системи ризик-менеджменту в економіці.

Серед найбільш застосовуваних моделей виділяються ансамблеві методи, які формують узагальнене рішення на основі рішень слабких моделей.

У роботах [17; 18], крім розгляду технічних аспектів reinforcement learning, окреслено також практичні приклади впровадження таких алгоритмів у сферах логістики, фінансового планування, управління запасами та виробничих процесів. Результати свідчать про значне підвищення якості прогнозування та гнучкості управлінських рішень.

Порівняння різних моделей, що застосовуються у сфері менеджменту, маркетингу та автоматизації обробки даних, дозволяє визначити сильні та слабкі сторони як ML-орієнтованих систем, так і гібридних рішень, які поєднують традиційні й новітні технології. Враховуючи зростаючу складність бізнес-середовища та динаміку ринків, обґрунтування вибору певної моделі стає ключовим для досягнення стійкої конкурентної переваги (табл. 2).

Для ефективного аналізу та вирішення складних завдань сучасного бізнесу дедалі ширше застосовуються гібридні моделі, які поєднують у собі переваги класичних економіко-математичних підходів та сучасних методів штучного інтелекту. Такий підхід забезпечує адаптивність,

Таблиця 2 – Порівняння підходів до економіко-математичного моделювання з використанням елементів штучного інтелекту

Методологія	Класичні економіко-математичні моделі	Інтегровані моделі з ШІ
Тип змінних	Структуровані, обмежені	Гетерогенні, великі обсяги
Робота з часовими рядами	Лінійна	Нелінійна, autoregressive
Виявлення латентних залежностей	Обмежене	Присутнє
Можливість самооновлення	Відсутня	Присутня (online learning)
Складність реалізації	Помірна	Висока

Джерело: сформовано автором на основі [15–18]

гнучкість і високий рівень автоматизації у процесах прийняття управлінських рішень.

Висновки. Ними було здійснено комплексний багатовекторний аналіз сучасних підходів до моделювання та прийняття управлінських рішень у бізнес-середовищі та сфері державного управління. Особливу увагу приділено гібридним моделям, які поєднують у собі переваги класичних економіко-математичних методів із сучасними цифровими технологіями, зокрема штучним інтелектом, інструментами великих даних, імітаційним та агентним моделюванням, а також системами машинного навчання. Зазначено, що саме така інтеграція стає запорукою адаптивності, гнучкості, підвищеної автоматизації та оперативності прийняття рішень в умовах швидких змін ринкового середовища, зростання обсягів інформації та необхідності врахування численних і складних факторів. Також наведено реальні приклади впровадження гібридних моделей у ключових галузях.

Гібридні моделі сприяють підвищенню ефективності управлінських рішень, покращенню якості стратегічного планування та оптимізації операційної діяльності організацій різного рівня. Вони дозволяють швидко реагувати на зміни зовнішнього середовища, зменшують ризики прийняття помилкових рішень і створюють умови для сталого розвитку навіть у кризових ситуаціях. Особливої ваги набуває інтеграція інноваційних підходів із традиційними інструментами для підвищення стійкості та гнучкості сучасних організацій.

На основі проведеного аналізу визначено основні напрями для майбутніх досліджень у сфері моделювання управлінських рішень в економіці. Розробка нових гібридних моделей із глибшою інтеграцією методів штучного інтелекту, машинного та глибинного навчання для підвищення точності, швидкості та надійності прогнозування у різних сферах економіки та державного управління.

Таким чином, подальша інтеграція інноваційних цифрових технологій із класичними економіко-математичними підходами відкриває широкі перспективи для розвитку конкурентоздатних, гнучких і стійких управлінських систем нового покоління. Збалансоване поєднання традиційного досвіду, сучасних цифрових інструментів і аналітики дозволяє організаціям не лише ефективно функціонувати в умовах невизначеності, а й лідирувати у своїх галузях, визначаючи тренди майбутнього розвитку.

Список використаних джерел:

1. Прокопенко Н., Круш К.-К. Економіко-математичне моделювання стратегічної зрілості проєктного управління підприємств енергетичної галузі. *Економіка та суспільство.* 2025. № 74. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-74-3
2. Гур'янова Л. С., Пушкар О. І., Панасенко О. В., Орлова А. О. Моделювання динаміки ринку в умовах цифрової економіки. *Бізнес Інформ.* 2025. № 2. С. 284–294. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-2-284-294.
3. Янковий О. Г. Латентні ознаки в економіці: монографія. Одеса: Атлант, 2015. 268 с.
4. Якімова Н. А. Математичні методи прогнозування в економіці та бізнесі. *Одеса: ОНУ ім. І. І. Мечникова*. 2024. 211 с.
5. Дудник О. Економіко-математичне моделювання як інструмент прогнозування впровадження стратегій розвитку в аграрному секторі. *Modeling the Development of the Economic Systems*. 2025. № 2. С. 52–59.
6. Куперман В. В. Багатовимірний статистичний метод побудови глобального критерію оптимальності виробничої програми. *Вісник соц.-екон. Досліджень ОНЕУ*. 2012. № 45. С. 126–131.
7. Chepurna O., Cherevko Y., Kuleshova Y. On Information Geometry Methods for Data Analysis. *Geometry, Integrability and Quantization.* 2024. Vol. 29. P. 11–22. DOI: https://doi.org/10.7546/giq-29-2024-11-22
8. Babii A., Ghysels E., Striaukas J. Machine Learning in Macroeconomics and Finance. *SSRN.* No. 4547321. DOI: https://doi.org/10.2139/ssrn.4547321
9. Oancea B. Advancing GDP Forecasting Using Deep Learning. *arXiv preprint.* 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2502.19807 (дата звернення: 20.07.2025).
10. Sharma P. An Application of AI Models in Macroeconomic Analysis and Forecasting. *IJSRD*. 2024. Vol. 12(5). URL: https://ijsdr.org/papers/IJSDR2412051.pdf (дата звернення: 20.07.2025).
11. Manshur Al Ahmad A. S., et al. Distributed Macroeconomic Modeling Using AI. *EAI Endorsed Transactions.* 2023. DOI: https://doi.org/10.4108/eetsis.4452 (дата звернення: 20.07.2025).
12. Chen Q. et al. Can AI Master Econometrics? *MetaGPT for Structured Macroeconomic Analysis.* 2025. arXiv preprint. URL: https://arxiv.org/abs/2506.00856 (дата звернення: 20.07.2025).
13. Ramaharo F., Rasolofomanana G. GDP Nowcasting for Madagascar Using ML. 2023. *arXiv preprint.* URL: https://arxiv.org/abs/2401.10255 (дата звернення: 20.07.2025).
14. Alexeeva A. et al. Deep Reinforcement Learning Control of Macroeconomic Chaos. 2023. *arXiv preprint.* URL: https://arxiv.org/abs/2302.12019 (дата звернення: 20.07.2025).
15. Wamba S. F., Kala Kamdjoug J. R., Akter S. et al. How artificial intelligence and big data analytics can support sustainable development goals (SDGs): A comprehensive literature review. *Technological Forecasting and Social Change*. 2023. Vol. 190. DOI: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122369
16. Guo Y., Tang J., Ye X., et al. A hybrid machine learning approach for financial risk prediction. *Expert Systems with Applications*. 2024. Vol. 232. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121239

17. Kaelbling L. P., Littman M. L., Moore A. W. Reinforcement Learning: A Survey. *Journal of Artificial Intelligence Research*. 1996. Vol. 4. DOI: https://doi.org/10.1613/jair.301

18. Francois-Lavet V., Henderson P., Islam R. et al. An Introduction to Deep Reinforcement Learning. *Foundations and Trends in Machine Learning*. 2018. Vol. 11(3–4). DOI: https://doi.org/10.1561/2200000071

References:

1. Prokopenko N., Krush K. (2025). Ekonomiko-matematychne modeliuvannia stratehichnoi zrilosti proiektnoho upravlinnia pidpryiemstv enerhetychnoi haluzi [Economic and Mathematical Modeling of Strategic Maturity of Project Management in Energy Enterprises]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society*, vol. 74. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-74-3 (in Ukrainian), (accessed July 20, 2025)

2. Huriianova L. S., Pushkar O. I., Panasenko O. V., Orlova A. O. (2025). Modeliuvannia dynamiky rynku v umovakh tsyfrovoi ekonomiky [Market Dynamics Modeling in the Digital Economy]. *Biznes Inform – Business Inform*, vol. 2, pp. 284–294. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-2-284-294 (in Ukrainian), (accessed July 20, 2025)

3. Yankovyi O. H. (2015). Latentni oznaky v ekonomitsi: monohrafiia [Latent Features in the Economy: Monograph]. Odesa: Atlant, 268 p. (in Ukrainian)

4. Yakimova N. A. (2024). Matematychni metody prohnozuvannia v ekonomitsi ta biznesi [Mathematical Forecasting Methods in Economics and Business]. *Odesa: ONU im. I. I. Mechnykova*, 211 p. (in Ukrainian)

5. Dudnyk O. (2025). Ekonomiko-matematychne modeliuvannia yak instrument prohnozuvannia vprovadzhennia stratehii rozvytku v ahrarnomu sektori [Economic and Mathematical Modeling as a Tool for Forecasting Strategy Implementation in the Agricultural Sector]. *Modeling the Development of the Economic Systems*, vol. 2, pp. 52–59. (in Ukrainian)

6. Kuperman V. V. (2012). Bahatovymirnyi statystychnyi metod pobudovy hlobalnoho kryteriiu optymalnosti vyrobnychoi prohramy [Multivariate Statistical Method for Constructing a Global Optimality Criterion for the Production Program]. *Visnyk sots.-ekon. doslidzhen – Bulletin of Socio-Economic Research*, vol. 45, pp. 126–131. (in Ukrainian)

7. Chepurna O., Cherevko Y., Kuleshova Y. (2024). On Information Geometry Methods for Data Analysis. *Geometry, Integrability and Quantization*, vol. 29, pp. 11–22. DOI: https://doi.org/10.7546/giq-29-2024-11-22

8. Babii A., Ghysels E., Striaukas J. (2023). Machine Learning in Macroeconomics and Finance. *SSRN.* No. 4547321. DOI: https://doi.org/10.2139/ssrn.4547321 (accessed July 20, 2025)

9. Oancea B. (2025). Advancing GDP Forecasting Using Deep Learning. *arXiv preprint*. Available at: https://arxiv.org/abs/2502.19807 (accessed July 20, 2025)

10. Sharma P. (2024). Machine Learning Models in Macroeconomics. *International Journal of Scientific Development and Research – IJSRD*, vol. 12(5). Available at: https://ijsdr.org/papers/IJSDR2412051.pdf (accessed July 20, 2025)

11. Manshur Al Ahmad A. S., et al. (2023). Distributed Macroeconomic Modeling Using AI. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*. DOI: https://doi.org/10.4108/eetsis.4452 (accessed July 20, 2025)

12. Chen Q., et al. (2025). Can AI Master Econometrics? MetaGPT for Structured Macroeconomic Analysis. *arXiv preprint*. Available at: https://arxiv.org/abs/2506.00856 (accessed July 20, 2025)

13. Ramaharo F., Rasolofomanana G. (2023). GDP Nowcasting for Madagascar Using ML. *arXiv preprint*. Available at: https://arxiv.org/abs/2401.10255 (accessed July 20, 2025)

14. Alexeeva A., et al. (2023). Deep Reinforcement Learning Control of Macroeconomic Chaos. *arXiv preprint*. Available at: https://arxiv.org/abs/2302.12019 (accessed July 20, 2025)

15. Wamba S. F., Kala Kamdjoug J. R., Akter S., et al. (2023). How Artificial Intelligence and Big Data Analytics Can Support Sustainable Development Goals (SDGs): A Comprehensive Literature Review. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 190. DOI: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122369

16. Guo Y., Tang J., Ye X., et al. (2024). A Hybrid Machine Learning Approach for Financial Risk Prediction. *Expert Systems with Applications*, vol. 232. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121239

17. Kaelbling L. P., Littman M. L., Moore A. W. (1996). Reinforcement Learning: A Survey. *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 4. DOI: https://doi.org/10.1613/jair.301

18. Francois-Lavet V., Henderson P., Islam R., et al. (2018). An Introduction to Deep Reinforcement Learning. *Foundations and Trends in Machine Learning*, vol. 11(3–4). DOI: https://doi.org/10.1561/2200000071

Стаття надійшла до редакції 05.08.2025